

O POUZDANOSTI FOTOGRAMETRIJSKIH SLOJNICA ŠUMSKIH PODRUČJA

Dr Zdenko TOMAŠEGOVIĆ, Zagreb

Veliki dio površine Zemlje prekriven je šumama, koje u većoj ili manjoj mjeri otežavaju pouzdano kartiranje slojnica tih područja. Naročito posljednjih desetak godina uslijedilo je više ispitivanja tog kompleksa u nas i u svijetu na koja bismo se htjeli ukratko osvrnuti.

Jugoslavija je zemlja, koja je otprilike trećinom svoje površine obrasla šumskom vegetacijom različitih gospodarskih oblika, vrsta i uzrasta tako, da je predmetna problematika takve naravi, da se naši fotogrametri sreću njome gotovo svakodnevno.

I

Relativno najranije zapazili smo izvode u diplomskoj radnji, koju je izradio inž. Stanko Požežanec na zagrebačkom Geodetskom fakultetu.

G. 1957. snimljeno je aerofotogrametrijski uže područje rijeke Kupe s dijelom Gorskog Kotara između Broda n. Kupa i Ravne Gore, te Delnica i Brod Moravica. Za potrebe Sumarskog fakulteta u Zagrebu kartiran je spomenuti dio Gorskog Kotara na autografu Wild A-7 u mjerilu 1:5.000 u Zavodu za fotogrametriju Geodetskog fakulteta u Zagrebu. Korišteni snimci potječu iz ljetne sezone (VII mjesec) kad je sva vegetacija bila u punom jeku. Slojnice su kartirane sa ekvidistanom od 5 m. Prigodom restitucije u šumskom području markica se vodila preko krošanja.

Inž. S. Požežanec bio je uzeo u zadatak da za jedan dio kartiranog područja i to u vrlo teškom (strmom i obraslom) terenu oko Skrada ispita visinsku pouzdanost kartiranja slojnica.

Iz komparacije visinskih razlika dobivenih stereorestitucijom s jedne, te iz trigonometričke mreže s druge strane, za 7 orijentacionih tačaka (u dva stereomodela) dolazi autor uvodno do zaključka da srednja pogreška fotogrametrijskih visina definiranih tačaka iznosi $\pm 0,30$ m (mjerilo snimaka 1:17.000, mjerilo modela 1:10.000).

Radi ispitivanja tačnosti visinskih podataka kako ih daju slojnice inž. Požežanec je na terenu postavio i odredio po položaju i visini profil između susjednih zadanih 3 trigonometrijskih tačaka u duljini od oko 2.000 m sa ukupno 79 kontrolnih tačaka (poligone i detaljne tačke).

Kad je taj niz tačaka kartirao na već gotov plan mjerila 1:5000, dobio je uvid u odstupanja visina dobivenih stereorestitucijom i nagnutost terena. Pokušaj, da

se dođe do analitičkog izraza za visinska odstupanja u ovisnosti od visine stabala i nagnutosti terena nije uspio; u opažaćkom materijalu nije bilo dovoljne signifikantnosti. Iz promatranja veličine odstupanja u ovisnosti samo o visini stabala (H) autor je grafičkom metodom zaključio da je odstupanje visina Δh ovisno o visini stabala približno po ovom zakonu $\Delta h \approx \pm 0,2 H$. Ovo praktički znači, da se pouzdano samo preko krošaranja vrlo mladih šumskih sastojina može indicirati morfologija terena. Ukupna srednja pogreška kartiranih slojnica izračunata iz odstupanja na spomenutih 79 kontrolnih tačaka iznosila je $\pm 3,7$ m dakle više od polovine odabrane ekvidistance slojnica. Stoga su i restitutori iscrtali slojnice u šumskom području zelenom bojom naglašivši time njihovu ograničenu pouzdanost.

II

Baveći se istom tematikom na drugi način godine 1960. dao je svoju diplomsku radnju na Geodetskom fakultetu u Zagrebu inž. Zvonko Paršić. I on je ispitivao tačnost fotogrametrijskih slojnica u dijelu šumarije Zalesina u Gorskom Kotaru.

Svoje zaključke je postavio ispitivanjem vjernosti mikro- i mezoreljefa na temelju usporedbe slojnica dobivenih tahimetrijskom i fotogrametrijskom metodom. Mjerilo plana kao i u slučaju I bilo je 1:5000. Područje ispitivanja nalazilo se uglavnom u visokoj jelovoj šumi (predjel Belevina), a bilo je veliko oko 50 ha. Inž. Z. Paršić je našao da je bilo mjesta gdje fotogrametrijske slojnice ne daju stvarni reljef, ali da je bilo mjesta gdje ni uz primijenjenu tahimetrijsku metodu terestričko snimanje reljefa nije zadovoljilo. Prvi je slučaj nastupio tamo gdje se radilo o uvalama, odnosno dolinama, sa dovoljno hranivog supstrata tako da jele u sklopljenoj sastojini doline imaju takve visine, koje se uglavnom izjednačuju s manjim visinama stabala s okolnih obala. Prema tome stereoskopski reljef vegetacije i terena u tom je slučaju različit. Naprotiv kod niske, vrlo guste vegetacije gdje nije bilo jednostavno ući sa tahimetrijskom letvom, a stereoskopska fizionomija vegetacije vjerno predočuje i reljef terena, fotogrametrijske slojnice su izvedene pouzdano.

Autor smatra korisnim za restitutora da prije kartiranja slojnica u ovakvim šumovitim predjelima izvrši prethodna terenska rekognosciranja i da prilikom stereozmjere za kritična mjesta poveća svoju koncentraciju uočavanja eventualnih lokalnih promjena visina, a ne da bude pod utjecajem okolne cjeline u stereomodelu.

III

Za Internacionalni fotogrametrijski kongres u Lisabonu god. 1964. izrađen je bio referat inž. M. Lipsa iz Berna (»Untersuchung von photogrammetrisch ausgewerteten Höhenkurven in walreichem Gebiet als Grundlage für kleinmasstäbliche Kartierungen«) o pouzdanosti fotogrametrijskih slojnica šumskih područja kad se radi o topografskim kartama u mjerilu 1:100.000 i 1:50.000.

Mjerilo snimaka eksponiranih kamerom Wild RC 9 iznosilo je 1:75.000. Za restituciju autografom Wild A 9 odnosno aviografom B 9 izrađeni su diapozitivi u mjerilu 1:150.000.

Kartirana su tri područja: 1. Murgenthal sa blagim morfološkim formama i nagnutostima 0 do 35% sa oko 50% površinskog učešća mješovitih šuma s visinama stabala od 10 do 30 m, 2. područje Weissensteina sa većim padinama; s nagnutosti i do 90% te šumom četinjara visokom 15—25 m sa površinskim učešćem od oko 60% i 3. područje Napf, koje pokazuje velike erodirane površine s mnogo formi reljefa. Tu su nagnutosti dosegle također iznos od 90%; šuma četinjara s učešćem 65% visine 15 do 25 m.

Slojnice su u sva tri slučaja kartirane pri vođenju markice po krošnjama stabala. Ekvidistanta slojnica iznosila je 50 m, te iznimno za 1. područje i 25 m.

Fotogrametrijski slojnice su fotomehaničkim postupkom desetorostruko povećane i komparirane sa slojnicama u preglednim planovima Švicarske u mjerilu 1:10.000 ili sa slojnicama u desetorostrukim povećanjima topografskih karata 1:100.000, koje su dobivene generaliziranjem i smanjivanih preglednih planova u mjerilu 1:10.000. Usputna ispitivanja slojnica u povećanjima karte 1:100.000 u usporedbi s planom 1:10.000 su pokazale da su slojnice vrlo vjerne.

Komparacijom visina na oko 500 tačaka autor je došao do zaključka:

a) da su slojnice na kartama mjerila 1:100.000 dobivenim na autografu Wild A 9 i aviografu Wild B 9 po visinama unutar tolerancije propisanim iznosom $m_v = \pm (13 \pm 33tg\alpha)$, gdje je α kut nagutosti terena;

b) za karte u mjerilu 1:50.000 samo 70 % ispitanih tačaka zadovoljava tolerancu navedenu pod a);

c) za strme terene zbog velikog bogatstva u reljefu bolja je primjena širokokutnih nego superširokokutnih snimaka;

d) vođenje markice po krošnjama sa dizanjem i spuštanjem traži oko 30% više radnog vremena nego li metoda kad se markica »uroni« u šumu do tla.

IV

Razmjerno vrlo detaljno i temeljito obradio je predmetnu problematiku i Günther Schultz u svojoj disertaciji pod naslovom: »Ispitivanje tačnosti fotogrametrijskih slojnica u šumskim područjima« (štampano u Münchenu 1965. kao izdanje Bavarske akademije nauka »Untersuchungen der Genauigkeit photogrametrischer Höhenlinien in Waldgebieten« str. 1 do 96 format A 4). Pisac je geodetski inženjer, naučni asistent Tehničkog univerziteta u Berlinu, dvogodišnji raniji suradnik Instituta za uređivanje šuma u Berlinu. U rješavanju numeričkog dijela tematike služi se spoznajama moderne matematičke statistike, te elektronskim računalom ZUSE (Z 23).

Ispitivanju je bilo podvrgnuto 14 šumskih područja za koja su izvršena nova fotogrametrijska kartiranja uključujući i kartiranja slojnica. Operati i područje potječu iz S. R. Njemačke i Švicarske. Mjerila tih kartiranja kreću se u granicama od 1:1000 do 1:5000, a mjerila pripadnih aerosnimaka (pan- i infra- emulzija) od 1:6500 do 15.000. Srednje nagutosti pojedinih ispitivanih područja iznose od 16% do 68%. Za ta područja postoje većinom od ranije visinski podaci veće tačnosti i to tahimetrički određene pojedinačne tačke ili vlakovi, odnosno planovi sa slojnicama

koji su nastali:

- a) snimanjem geodetskim stolom ili
- b) numeričkom tahimetrijom ili
- c) geometrijskim nivelmanom (visinsko snimanje) ili
- d) fotogrametrijskim kartiranjem (bilo prije ili nakon pošumljavanja).

Ako se radilo o liščarskim šumama kartiranja kod d), koja su služila kao osnova za ispitivanja, izvršena su pomoću aerosnimaka ekspaniranih prije prolištavanja šuma.

Kod fotogrametrijskog kartiranja novih slojnica autor se pridržavao ovih radnih smjernica:

1. prethodni stereoskopski pregled oblika šumskog pokrova na osnovu postojećih aerosnimaka (kontaktnih kopija na fotopapiru),

2. kartiranje slojnica potrebno je izvršiti uz pomoć asistencija, naročito onda kad se slojnice — uz konstantan visinski postav markice — kartiraju fragmentarno ili dapače samo pomoću pojedinih stereoskopski uviziranih tačaka (u slučaju razbitog sklopa sastojine),

3. slučajni nesistematski izbor visinskih tačaka ne vodi cilju Tim se tačkama ne mogu jednoznačno definirati slojnice, jer takve tačke ne leže baš na morfološki karakterističnim mjestima

4. Kod vrlo dobrog uvida na tlo može za kontrolu pomoći i pseudoefekt naizmjenično sa ortoskopskim efektom

Ispitivanje tačnosti novih fotogrametrijskih slojnica izvršilo se pomoću visinski datih tačaka ili spomenutih slojnica veće tačnosti. Radi identifikacije mjesta na kojima će se komparirati visine sveli su se optički, redreserom Zeiss Aertopograph SEG V, isječci novih planova (koji se ispituju) na isto mjerilo sa postojećom kartografskom podlogom (u većini slučaja radno mjerilo iznosilo je 1:1000).

Na 14 spomenutih područja ispitane su visine na preko 3000 tačaka. Uz svako takvo mjerno opažanje dolazi i registracija ovih značajki:

α) visina šume (u razredima od po 5 m)

β) tip šume pod kojim autor ujedinjuje kako dominantnu vrstu drveća (liščari, četinjari, mješovite šume četinjara i liščara) tako i načine gospodarenja kakvi u S. R. Njemačkoj dolaze u praksi (preborne šume, šuma sa skupinastim oplodnim gospodarenjem i šuma sa rubnom sječom uz prirodno pomlađivanje na pruge).

γ) stupanj zasjenjenosti tla (sjena ili gotovo bez sjene), te

δ) vidljivost tla (uvid na tlo: vrlo dobar, dobar, umjeren, loš).

Za svaki od tih 4 skupina predleži spomenutih 3000 opažanja.

Kod iznosa $f_v = V_t - V_i$ (u stvari popravaka) kojima se autor konsekventno služio koji su razlike između visina, koje trebaju biti i koje su dobivene novim kartiranjem uočeno je učešće jednostrano djelujućih pogrešaka. Te potječu ili od pogrešaka u stereomodelu ili od sistematskih pogrešaka subjektivnih (ove ovise o percepciji restitatora u vezi sa viziranjem na objekt šumu) ili objektivnih (koji potječu od samih objekata odnosno od spomenutih značajki). Iznosi tih objektivnih sistematskih pogrešaka (k) se kreću za pojedino ispitivano područje u granicama i to: za značajke α) od $-2,1$ m do $+2,0$ m, za β) u granicama od $-2,4$ m do $+2,0$ m, za γ) od $-4,1$ m do $+1,5$ m, a za značajku δ) u granicama od $-7,1$ m (svega 7 opažanja za ovaj podatak; bolja ekstremno minus vrijednost $-2,5$) do $+1,9$ m. Jak je naročito udio tih sistematskih pogrešaka u jako zasjenjenim predjelima. Sistematske subjektivne pogreške opažatelj bi trebao postepeno eliminirati vježbanjem na eventualno postojećim test-modelima.

Nakon isključenja sistematskih pogrešaka računale su se srednje slučajne pogreške.

$$m_{\bar{v}} = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}}$$

koje su dale autoru povoda za razmatranje u vezi sa postavljenim problemom.

Te slučajne pogreške kretale su se u granicama $\pm 0,0$ m do $\pm 3,2$ m; ponajviše oko ± 2 m. Odavle autor zaključuje da kod mjerila kartiranja sitnijih od 1:25.000 šuma kao objekt sa svojim otežavajućim značajkama nije više u pitanju; kod mje-

rila 1:10.000 te 1:5000 dolazi do ograničenja tačnosti slojnice u šumama. Na osnovu nekih evropskih tolerancija (S. R. Njemačka, V. Britanija, Francuska, Švicarska) u pogledu tačnosti slojnice (danih u Koppeovom obliku $x + y \text{ tg} \alpha$) autor dolazi do zaključka da je adekvatno, pouzdano kartiranje slojnice preporučljivo samo onda ako su nagibi terena u vezi sa značajkama α) do δ) veći od ovih navedenih u tablici u postocima

Značajka	Plan 1:5000 (njemačke tolerance)	Karta 1:10.000 (švicarske tolerancije)	Srednja pogreška m_v m koje se mogu očekivati
Ako su visine stabala od 0—10 m	20	15	$\pm 1,4$
Ako su visine stabala od 10—30 m	55	70	$\pm 3,2$
Ako se radi a) o četinjara višim od 10 m	35	40	$\pm 2,3$
b) lišćari (pod listom)	60	75	$\pm 3,4$
(bez lista)	15	10	$\pm 1,3$
U sjenovitom predjelu	60	75	$\pm 3,4$
U predjelima bez sjene	35	35	$\pm 2,1$
Ako je vidljivost tla dobra	15	5	$\pm 1,2$
Ako je vidljivost loša	55	70	$\pm 3,2$

Obzirom na značajke α) do δ) i njihov utjecaj na tačnost ispitivanih slojnica u šumama treba reći ovo:

a) Primjenjena spomenuta metodika kartiranja slojnice dala je srednje slučajne pogreške slojnice, koje su među ostalim ovisne i o visini stabala. Ta pogreška kod stabala sa visinom manjom od 5 m nije veća od ± 1 m; raste sa visinom stabala (20 m) do gotovo ± 3 m te za visine stabala veće od 20 m gotovo stagnira na tom iznosu (podaci sa 6 objekata). Kod manjih visina stabala sistematska je pogreška ispala pozitivna (oko ± 5 m), a kod stabala viših od 15 m otprilike -1 m. Diferenciranje navedenih podataka za lišćare odnosno četinjare autor nije imao prilike dati, što je za žaljenje.

Glede određivanja visina stabala kod gušće raslih sastojina napomenuti da je pretpostavka o jednoličnim visinama čak i na manjim područjima manje ili više nesigurna. Variabilitet visina stabala mogu uzrokovati razni lokalni razlozi (bonitet, nagnutost, ekspozicija, i sl.). Naročito treba voditi računa da su tzv. rubna stabla kod srednjedobnih sastojina (smreka na pr. ispod 80 god.) obično bar 1 m niža nego ona u unutrašnjosti sastojine. Kod srednjedobnih i starijih sklopljenih šumskih sastojina upravo lokalne promjene visine stabala glavnim su uzrokom da se gubi čak i mezorelief kod kartiranja slojnice. Gornja zamišljena ploha krošanja nije naime paralelna sa plohom terena, pa bi i kod savršene stereoskopske definiranosti vrhova krošanja ta osobina ostala glavnom zaprekom pouzdanosti u kartiranju slojnice kad se markica vodi po gornjoj površini krošanja.

Autor je tri objekta podvrgao ispitivanju u pogledu pridolaska mikroreljefa. Ustanovio je (pomoću Töpferove vizuelne metode) za ta tri objekta da je u prosjeku (uz djelomično dobar i djelomično loš uvid na tlo) mikroreljef sačuvan u 64% slučajeva.

β) u pogledu tipa šume bez obzira na druge značajke najpovoljniji su odnosi kod lišćarskih šuma bez lista i bez većih sjena dakle s vrlo dobrim uvidom na tlo (čak do $\pm 0,1$ m, no u prosjeku $\pm 1,3$ m), slijede četinjari i to smrekove sastojine (5 objekata) sa prosječno $\pm 2,3$ m, pa mješovite sastojine četinjara i lišćara ($\pm 3,0$ m), te lišćarske sastojine (8 objekata) pod listom (u prosjeku $\pm 3,4$ m).

Od gospodarskih oblika najslabije rezultate je dala preborna šuma (takova kod koje su na istoj površini zastupljeni svi dobni razredi stabala) i to $\pm 3,3$ m (201 opažanja); bolje rezultate je dala šuma sa skupinastim oplodnim gospodarenjem (sklop šume razbit u „krpastim“ otvorima unutar kojih može biti podmlatka različite visine) tj. srednju pogrešku od $\pm 2,3$ m (104 opažanja). Relativno najbolji rezultati postignuti su u šumi sa rubnom sječom s prirodnim pomlađenjem na pruge sa srednjom pogreškom slojnice od $\pm 1,9$ m (99 opažanja).

γ) za postizavanje pouzdanosti naročito je odsudan elemenat sjena. Za ispitana 4 objekta sa predjelima sa sjenom srednja pogreška se penje do $\pm 3,4$ m. Za 617 tačaka, koje leže u sjeni nađena je sistematska pogreška od $-1,3$ m. Tu je dakle mjereća markica ostala sistematski iznad stereomodela.

δ) Stupanj vidljivosti tla ovisan je među ostalim i o slici šumskog pokrova, obraslosti po broju stabala, vremenu snimanja, refleksiji tla itd. Na osnovu provedene (djelomično ipak subjektivne) klasifikacije postignuti su ovi rezultati: kod dobre vidljivosti $\pm 1,2$ m (832 opažanja), srednje $\pm 2,4$ m (602 opažanja), te loše vidljivosti $\pm 3,2$ m (1740 opažanja).

Možemo zaključiti da bise prema podacima Schultz rezultati u kartiranju slojnice u šumama mogli relativno popraviti:

- 1) ako se primjene uskokutne aerofotokamere
- 2) ako se snimanje izvrši u doba dana kad su sjene relativno najkraće (no zimski period sa lišćarima bez lišća daje za naš klimat relativno dugačke sjene čak i u podne).
- 3) Kolikogod su infracrveni snimci za čisto šumsko gospodarstvo kartiranje obzirom na pouzdanije diferenciranje vrsta poželjni, dotle su kod kartiranja slojnice zbog relativno male remisije s tla nepoželjni.
- 4) Aerosnimanje bi trebalo u šumskim područjima obaviti onih dana kad nema jakog vjetra. Tako su na pr. zapažene kod rijetkih borovih sastojina visokih 30 m amplitude kod gibanja stabala uslijed vjetra s iznosom od 4% od visine stabala, a čak do 10% kod izoliranih topolovih stabala.
- 5) Za snimke šumovitih predjela potrebno bi bilo primjeniti izjednačenje kontrasta naročito postojećim laboratorijskim instrumentima (sistem Cintl, Logetronie).